



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstruccion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile  
Chile

MOLINA HUELVA, M.; FERNÁNDEZ ANS, P.

Evolución del comportamiento térmico en viviendas tradicionales de piedra y cubierta de paja. Puesta  
en valor de un modelo sostenible en el noroeste de España

Revista de la Construcción, vol. 12, núm. 2, noviembre, 2013, pp. 102-115  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127629284008>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

*Evolution of Thermal  
Behavior in Stone and  
Thatched Roof Traditional  
Houses. Enhancement of  
a Sustainable Model in  
Northwest Spain*

# **Evolución del comportamiento térmico en viviendas tradicionales de piedra y cubierta de paja. Puesta en valor de un modelo sostenible en el noroeste de España**



## **Autores**

**MOLINA HUELVA, M.** Universidad de Sevilla. Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Avd. Reina Mercedes 2, 41012 Sevilla  
martamolina@us.es

**FERNÁNDEZ ANS, P.** Rehabilita Energía  
pabloans@rehabilitaenergia.com

**Fecha de recepción** 16/1/2013

**Fecha de aceptación** 1/8/2013

Código interno RDLC 0094

## Resumen

Análisis comparativo de la envolvente térmica y demanda energética entre dos tipologías de vivienda, la palloza y la vivienda tradicional, en la zona de montaña Os Ancares, en el noroeste de España. Se mencionan estas tipologías con la de otros países europeos, prin-

cipalmente Gran Bretaña, mediante el estudio energético del empleo de paja en cubiertas. Se propone un modelo de estudio obteniendo conclusiones sobre la palloza como ejemplo de arquitectura tradicional y su puesta en valor como modelo sostenible.

**Palabras clave:** Sostenibilidad, rehabilitación térmica, palloza.

## Abstract

*Comparative analysis of thermal envelope and energy demand between two types of housing, thatched roof and traditional house, placed in Ancares Mountains in Northwest Spain is presented. These housing typologies are compare to others in European*

*countries, notably in Britain, in relation to study the straw thermal properties in roofs. A study model is proposed to obtain conclusions about the thatched roof house as a traditional architecture example and its value as a sustainable model.*

**Keywords:** Sustainability, thermal rehabilitation, thatched roof house.

## 1. Introducción

Con asiduidad y motivada por las nuevas exigencias normativas y de confort, la calidad en nuestras viviendas cobra cada vez más importancia asociada a criterios de ahorro energético. Dadas las necesidades de abastecimiento de energía y el crecimiento de economías emergentes, es prioritario controlar y minimizar el consumo energético, según el protocolo de Kioto (United Nations, 1998), prorrogado en la última conferencia de la ciudad sudafricana de Durban bajo acuerdo de mínimos (United Nations, 2011). Esta preocupación mundial por la gestión energética se desarrolla en Europa mediante las directivas 2010/31/UE (Unión Europea, 2010) y 2012/27/UE (Unión Europea, 2012) traspuestas a los diferentes países. Todo ello bajo el triple objetivo (20/20/20) de reducir un 20% las emisiones GEI, aumentar un 20% la eficiencia energética y un 20% la energía procedente de energías renovables, antes del año 2020 (Comisión Europea 2010).

De las diferentes estrategias europeas encaminadas al ahorro energético, tienen un papel fundamental aquellas pertenecientes al sector de la edificación, y el uso de técnicas pasivas de ahorro energético, con una tendencia hacia edificios de consumo nulo (NZEB *Near Zero Energy Building*), de acuerdo con lo indicado en la directiva 2010/31/EU: "como muy tarde el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean al menos edificios de energía casi nula" (Unión Europea, 2010). Esta tendencia de reducción en los consumos energéticos no se obtendrá sin adoptar estrategias de ahorro pasivas (diseño) y activas (rendimiento de instalaciones y equipos); siendo necesario para cuantificarla establecer indicadores, como el consumo anual de energía primaria en kWh/m<sup>2</sup> o KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Estos parámetros permitirán comparar y desarrollar nuevos materiales y sistemas, así como procedimientos de cálculo que permitan valorar la efectividad de estrategias activas y pasivas en la edificación, herramientas de gran utilidad para establecer modelos del funcionamiento energético de los edificios.

En cuanto a las estrategias pasivas su puesta en valor supone un primer peldaño imprescindible en el desempeño energético. Las medidas pasivas están condicionadas por la localización y el entorno climático, afrontadas por la arquitectura tradicional con diferentes soluciones, perfeccionadas durante siglos mediante ensayos de acierto y error, obteniendo estrategias de diseño constructivo eficaces y adecuadas para cada uno de los climas. La arquitectura vernácula ya lleva implícito, sin saberlo, estrategias pasivas como respuesta al medio. Es el caso de soluciones constructivas con el empleo de paja en cubiertas, en la que diferentes culturas del

mundo (América, Asia, África y Europa) han desarrollado similares soluciones constructivas sin haber existido contacto cultural entre ellas.

**Figura 1.** Palloza (derecha); vivienda rural contemporánea (centro e izquierda)



Fuente: García, M. "Yuma", 1997.

## 2. Objetivo

El conocimiento de las estrategias pasivas empleadas tradicionalmente, permitirá adecuar los nuevos requisitos de ahorro energéticos en los edificios con sistemas constructivos eficaces y de bajo impacto medioambiental. El objetivo de este artículo es valorar las características constructivas de tipologías de vivienda de arquitectura tradicional, para conocer su eficacia energética usando métodos actualizados. Para ello se comparan dos modelos de vivienda de un entorno rural que no cumplen las exigencias energéticas actuales. Están representados por la palloza (modelo 1) y la vivienda rural contemporánea (modelo 2), que comprende diversos períodos desde los años 1959 a la actualidad: arcaico, rupturista e involucionista (Lizancos, 2005). La Figura 1 representa ambos modelos en la sierra de Os Ancares (Galicia) en el noroeste de España. El primer modelo del estudio, la palloza, supone un caso extremo de vivienda, ya que es considerada un "hábitat prerromano", tanto por las necesidades requeridas como por las técnicas y los materiales empleados. El segundo modelo, vivienda rural contemporánea, supone un patrón de vivienda sin antecedentes históricos, con unas necesidades de habitar diferentes y ejecutada con técnicas constructivas y materiales de construcción industrializados. El análisis del comportamiento energético de ambos patrones constructivos permitirá conocer la evolución en la construcción rural, desde un punto de vista energético.

**Figura 2.** Emplazamiento de la palloza y construcciones con techos de paja en Europa



Fuente: IGN Francia, IGN España.

### 3. La palloza como caso de estudio

“Un trozo de muro no es una palloza, una palloza constituye toda una forma de vida” (García, M. Yuma, 1997).

La palabra “palloza” o “pallaza” procede del gallego “palla” (paja) que deriva del latín “palea” (paja), y por definición “casa de paja”.

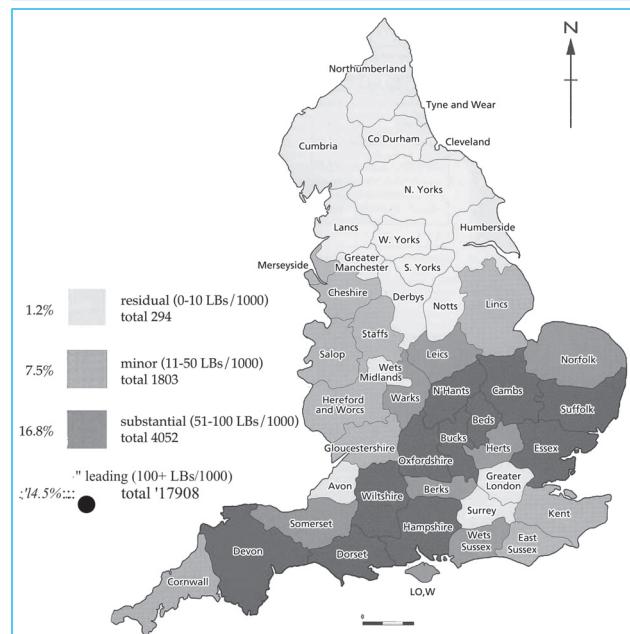
#### Emplazamiento

Su ubicación geográfica corresponde al noroeste de España, centrada en la sierra de Os Ancares, en altitudes medias de 1000 m, próxima al Camino de Santiago y entre las provincias de Galicia, Asturias y Castilla-León, delimitado por los valles comprendidos entre los ríos Burbia y Ancares; marcado con características propias debido a su aislamiento geográfico (Figura 2). En la Península Ibérica existen similares soluciones constructivas con cubierta de paja en las provincias de Asturias, Castilla-León (casas de teito), Valencia (barracas), Parque Nacional de Doñana en Andalucía (chozas) y en algunas sierras de Portugal. En Galicia, noroeste de España, se han estudiado (De Llano, 1981)

e inventariado más de 900 construcciones (en buen estado o ruina) con cubiertas de paja, que realizó la Xunta de Galicia en 1997. Fuera de la Península, esta tipología se extiende por países del norte de Europa (Holanda, Dinamarca, Alemania), y principalmente por Gran Bretaña (Inglaterra, Irlanda, Gales), con grandes similitudes con las existentes al norte de Escocia (isla de Sky, isla de Lewis). Bajo la definición anglosajona “thatching” se incluyen aquellas construcciones con el empleo de paja en cubiertas “thatch roof”. Esta tipología es considerada por algunos autores como la tipología de vivienda más antigua en las islas británicas (Morgan, 1960).

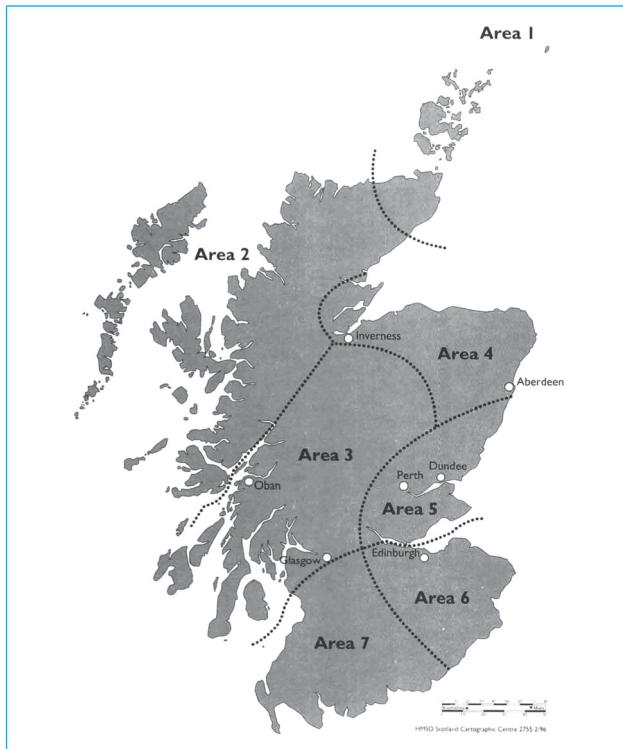
Del estudio publicado (English Heritage, 2000) se estima en casi dos millones las construcciones con cubiertas de paja, un millón construidas antes del año 1800, presentando una mayor densidad en la zona sur de Gran Bretaña (Figura 3), (LABC, 2009). Para el caso de Escocia (Walter, 1996), se distribuyen en siete áreas, en función de las técnicas constructivas empleadas (Figura 4). Tanto Inglaterra como Escocia están históricamente más relacionadas con las pallozas, pero son numerosas las civilizaciones en los cinco continentes que han llegado de modo independiente a soluciones constructivas similares: Kuélap (Perú); Ogimochi (Japón) o Nimule (Sudán).

**Figura 3.** Distribución geográfica cubiertas de paja “thatched buildings” en Inglaterra



Fuente: English Heritage, 2000.

**Figura 4.** Distribución zonal de cubiertas de paja según técnicas constructivas en Escocia



Fuente: Walter, 1996.

### Antecedentes históricos

Las primeras referencias se encuentran en construcciones prerromanas asociadas a la cultura castreña, característica del noroeste de España, con viviendas circulares (Villares, 1984). Algunas de ellas se han mantenido habitadas hasta hace muy poco. En el año 1990 se deshabita la última palloza en Salgueiras, Navia de Suarna, Galicia. La palloza como unidad es un estado de supervivencia donde convivían animales y personas, bajo el mismo techo, en un espacio único, manteniendo una resistencia frente a adversas condiciones climáticas, combinando el uso como vivienda, establo y almacén; una máquina energética para combatir los meses de invierno, en torno al lar central (del latín, hogar). La palloza ha funcionado como tecnología punta durante siglos para las prestaciones requeridas. Su funcionamiento se basa en el mismo criterio que ha puesto en valor toda la arquitectura tradicional, el acierto-error.

### Sistema constructivo

Son construcciones situadas a media ladera, sin orientación determinada. La zona de establo se sitúa en

la parte baja, aprovechando la pendiente natural del terreno y favoreciendo las escorrentías de aguas y purines. Su planta es circular o elíptica, con muros de piedra (granito, pizarra) sobre los que se apoya una amplia cubierta realizada con entramado de maderas de roble, castaño y techo de paja de centeno. El suelo se ejecuta mediante tierra compactada y encamado de paja alternada con enlosado de pizarra. La distribución interior se realiza en un espacio único compartido por personas y ganado, separados mediante entablado de madera. Únicamente tiene dos puertas, a veces solo una, para el acceso del ganado y personas, y algunos ventanucos, que permiten la entrada de luz exterior, minimizando las pérdidas energéticas. El punto fuerte y a su vez débil es su cubierta. Se ejecuta con paja de centeno sin trillar, entera, denominada "cuelmo", atada a la estructura de madera con la misma paja retorcida, "vincayos", especialización que ha generado el oficio de "teitador". La paja de centeno es una materia prima de ámbito local, con un bajo coste ambiental asociado, considerado como un material sostenible. El empleo de cubiertas de paja minimiza los costes medioambientales y de consumo de energía en su extracción, transporte y transformación del material, durante su uso y mantenimiento. La cubrición se forma con espesores desde 50 cm a 80 cm, que con las renovaciones periódicas de material puede llegar al metro de espesor. En ocasiones, también es posible encontrar, bajo la paja, una primera base de escobas (xesta, *citysus scoparius*), o brezo (urz, *calluna vulgaris*).

La tecnología de manipulación y colocación de la paja de centeno las hace impermeables y transpirables, permitiendo mantener en su interior temperaturas medias anuales en torno a los 17°-18° C, con una oscilación total de 10°C (de los 10-12°C en invierno a los 20-22°C en verano); manteniendo en épocas de frío un fuego constantemente encendido, cumpliendo el humo, además, las funciones de impermeabilización y protección de parásitos. Asimismo, el abandono de plantaciones de centeno y la pérdida del oficio de "teitador" ha obligado a realizar reparaciones de las cubiertas colocando sobre la propia paja placas de fibrocemento o metálicas.

En el ámbito internacional, las principales referencias y análisis realizados proceden de Escocia, Inglaterra, Irlanda y Gales. Diferenciados del caso español, las cubiertas *thatched roof* se definen en función del tipo de planta utilizada, principalmente *water reed* (*Phragmites communis*, caña); *combed wheat reed* o *long straw* (trigo), con duraciones en años de 30-50, 20-30 y 15-25, respectivamente (Thatching Advisory Services, 2011).

En el caso de muros, pueden ejecutarse solo con paja, empacadas en balas, o mixtos, como el tapial (argamasa de paja y barro encofrada por ambas caras) o adobe (ladrillos de tierra cocida al sol). Sin embargo, en estos dos últimos casos la función principal de la paja es obtener mejores prestaciones estructurales como armado, propias de climas secos, al contrario de las balas de paja, con prestaciones de aislamiento térmico en muros.

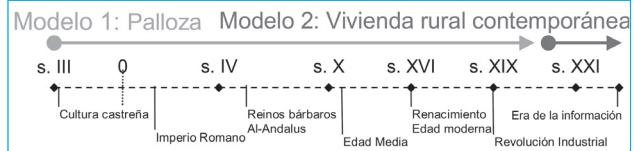
Las propiedades aislantes y el uso del fuego suponen también sus desventajas, pues el carácter fácilmente inflamable de la paja ha sido en gran parte causante del abandono de las mismas. Diferentes ensayos realizados bajo especificaciones ASTM-E119 (American Society for Testing and Materials, 2012) y ÖNORM B380 (Austrian Standards Plus, 2012) ofrecen valores de resistencia al fuego superiores a los 90 minutos, cuando están revestidas con mortero o barro en sus caras. Esta resistencia se debe a la compacidad del conjunto, eliminando el aire intermedio que favorece la combustión. En el caso extremo, muros de tapial o adobe presentan excelentes prestaciones de resistencia al fuego.

#### 4. Vivienda rural contemporánea

El otro caso de estudio analizado en el presente artículo, modelo 2, es la vivienda rural contemporánea, que surge a mediados del siglo XX en el noroeste de España, Galicia, como una nueva tipología de vivienda unifamiliar. El modelo vivienda rural contemporánea supone la transición de una sociedad de la "antigüedad", hacia una sociedad "contemporánea". Esta transición ha supuesto un cambio generacional de aspectos sociales, y respecto a la vivienda, un cambio de requerimientos de confort y nuevos materiales y recursos constructivos. Este cambio, facilitado por el desarrollo industrial, permite a la vivienda rural contemporánea la incorporación de nuevos materiales (vidrio, plásticos, prefabricados) y otros tradicionales transformados industrialmente (ladrillo), que han sido empleados en las viviendas con nuevas técnicas constructivas sin antecedentes históricos, propias de la adaptación del mundo rural al industrial.

La confrontación tradición/modernidad es universal, y se refleja en el cambio de las cubiertas de las casas. Según A. González (2001), "los antiguos tejados de paja se van sustituyendo paulatinamente por placas de metal ondulado, se trate de los k'ekchíes guatemaltecos o de los campesinos irlandeses y en todas partes el significado es semejante. Lo tradicional, el pasado preindustrial se considera ante la llegada de la cultura material capitalista como un símbolo de oprobio del que hay que renegar". El contexto cronológico de ambas tipologías puede verse en la Figura 5.

Figura 5. Cronograma histórico de los modelos



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a las características arquitectónicas, el modelo 2 se desarrolla como vivienda unifamiliar aislada en dos plantas, la planta baja (térrrea) se destina a almacén-establo, independizándose de la vivienda en planta primera mediante el acceso por una escalera. La estructura portante es de hormigón armado, con forjados de planta y de cubierta unidireccionales con bóvedilla de hormigón. Habitualmente la fachada se ejecuta con muro doble de ladrillo, cámara de aire y aislamiento EPS, revestido con mortero de cemento por el interior y exterior; resolviendo en ocasiones la planta baja con un muro de bloques de hormigón. La cubierta se realiza con piezas de pizarra colocadas sobre las losas inclinadas de hormigón armado. La losa en planta baja es de hormigón en masa. Las ventanas son de carpintería de aluminio con rotura de puente térmico y vidrios dobles con cámara de aire.

#### 5. Metodología

La metodología empleada se basa en el análisis del comportamiento energético de ambos modelos, mediante el uso de aplicaciones informáticas. No existe un método adecuado para plantear el análisis energético en modelos tradicionales como es el caso de la palloza, si bien para el modelo de vivienda rural contemporánea pueden adaptarse los métodos de cálculo de las aplicaciones informáticas existentes. La metodología utilizada ha sido:

- Definición de parámetros del entorno (altitud y zona climática)
- Definición geométrica
- Definición de parámetros:
  - resistencia térmica R ( $m^2K/W$ )
  - transmitancia térmica U ( $W/m^2K$ )
  - puentes térmicos
- Modelización térmica
- Obtención resultados demanda térmica
- Análisis y discusión de resultados

La herramienta informática empleada ha sido LIDER 1.0. (Limitación Demanda Energética). Método de cálculo establecido para la verificación de las exi-

gencias de limitación de la demanda energética que establece el Código Técnico de la Edificación en España, CTE-DB-HE1 (Ministerio de Vivienda, 2006). En la aplicación LIDER se compara el edificio de estudio respecto a un modelo de referencia que cumple los requisitos mínimos exigidos por el CTE (CTE-DB-HE1). Su desarrollo está basado en el programa de simulación energética DOE-2 (United States Department of Energy, 2009). De este modo, aunque las características térmicas de ambas tipologías –palloza y vivienda rural contemporánea– son diferentes, es posible realizar un análisis comparativo entre ellas.

Con esta aplicación se determina la demanda de energía anual del edificio, considerando las ganancias energéticas exteriores debidas a la orientación y a través de la envolvente térmica, y las cargas internas para obtener el balance energético, definido por su carga conductiva a través de cerramientos y convectivo-radiante. Para los casos de estudio, la mayor carga térmica reside en la envolvente, definidas por su resistencia e inercia térmicas. La resistencia y transmitancia térmica se relacionan mediante el espesor del cerramiento ( $L$ ) y su coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ ), obteniéndose las mejores prestaciones térmicas para valores bajos de transmitancia térmica y altos de resistencia térmica, según la Ecuación 1.

**[1]: Relación resistencia térmica  $R$  ( $m^2K/W$ ) y transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2K$ )**

$$R = \frac{L}{\lambda} = \frac{1}{U}$$

$R$ = resistencia térmica del material  $R$  ( $m^2K/W$ )

$L$ = espesor cerramiento ( $m$ )

$\lambda$ = coeficiente conductividad térmica ( $W/mK$ )

$U$ = transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2K$ )

Fuente: MINETUR, IDAE, 2008.

Otro parámetro importante en el caso de elementos de masa es su inercia térmica (principalmente en muros, ya que los valores de capacidad de inercia térmica de la cubierta de paja son bajos, y mayores para muros de piedra). Permite regular a lo largo del tiempo la cesión de calor entre el interior y el exterior de la vivienda (su comportamiento será necesario definirlo mediante simulación dinámica y no estacionaria) (Ecuación 2). Es posible relacionar los valores de transmitancia  $U$  e inercia térmica del cerramiento, considerando el coste (económico y medioambiental) para mantener las condiciones interiores, obteniendo los mayores valores para inercias bajas y altas conductividades, según la Figura 6, (Watson, 1979).

**[2]: Relación energía acumulada por un elemento e inercia térmica**

$$\frac{Q}{A} = \rho \cdot Cp \cdot L \cdot \left( \frac{T_1 - T_2}{2} \right) = C \cdot \left( \frac{T_1 - T_2}{2} \right)$$

$Q$  = energía acumulada por el muro ( $J$ )

$A$  = área del muro ( $m^2$ )

$\rho$  = densidad ( $kg/m^3$ )

$Cp$  = capacidad calorífica ( $J/kgK$ )

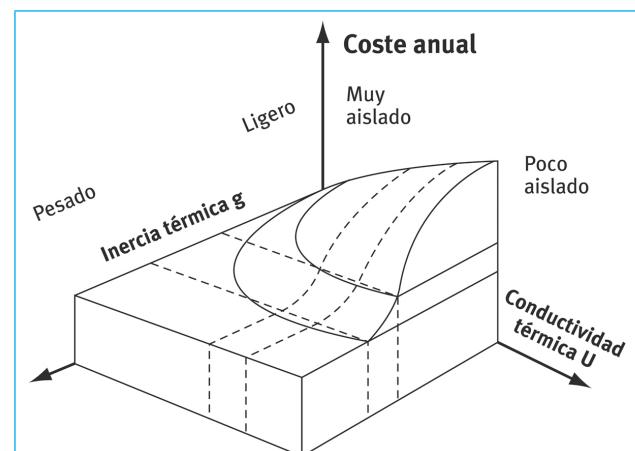
$L$  = espesor ( $m$ )

$T_1, T_2$  = variación temperatura del muro ( $K$ )

$C$  = capacidad de almacenamiento de energía por superficie de muro ( $J/m^2K$ )

Fuente: MINETUR, IDAE, 2008.

**Figura 6. Inercia, conductividad térmica y coste anual de un cerramiento. Modelo general**



Fuente: MINETUR, IDAE, 2008.

## 6. Descripción de los modelos de estudio

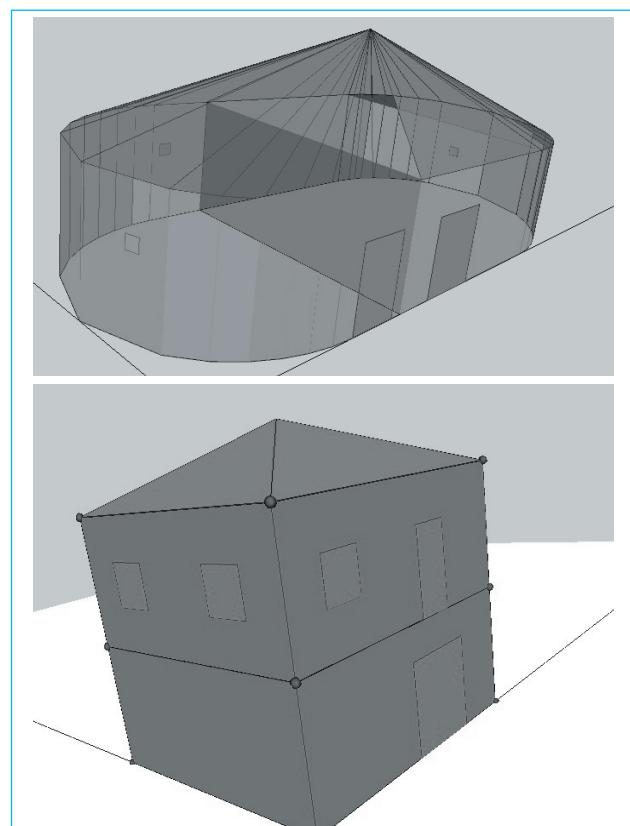
En España se establecen 12 zonas climáticas, identificadas mediante una letra, correspondiente a la división de invierno (A-E), y un número, correspondiente a verano (1-4). Tanto el modelo 1 como el 2 se enfrentan a las mismas exigencias climáticas en las montañas de Os Ancares, a altitudes de 1.300 m sobre el nivel del mar (Piornedo, Lugo, Galicia) y zona climática E1. La zona climática E1 posee el índice más alto de severidad climática (combinación de los grados-día y de la radiación solar de la localidad) en invierno,  $SCI > 1.3$ , así como el índice más bajo de severidad climática en verano,  $SCV \leq 0.6$  (CTE-DB-HE, apéndice D) (Ministerio de Vivienda, 2006). Los modelos 1 y 2 poseen generación de

calor debido a la presencia del ganado en su interior, además de presentar focos de calor debido al fuego en el modelo 1 y cocinas de hierro en el caso del modelo 2. Dado que se valoran las demandas de calefacción, estas fuentes de suministro no se han considerado.

**Tabla 1:** Superficies de los modelos 1 y 2

	Modelo 1 Palloza	Modelo 2 Vivienda rural contemporánea
Forma de la planta	Ovalada 7.00x14.00 m <sup>2</sup>	Cuadrada 6.00x7.00 m <sup>2</sup>
Superficie establo	57.34 m <sup>2</sup>	42.00 m <sup>2</sup>
Superficie vivienda	29.34 m <sup>2</sup>	42.00 m <sup>2</sup>
Superficie bajo cubierta	no	42.00 m <sup>2</sup>
Superficie total	88.68 m <sup>2</sup>	126.00 m <sup>2</sup>
Volumen total	355.38 m <sup>3</sup>	357.00 m <sup>3</sup>

**Figura 7.** Interfaz gráfica LIDER: palloza (arriba) y  
vivienda rural contemporánea (abajo)



Para establecer un análisis comparativo se han modelizado ambas viviendas con superficies y volúmenes similares (Figura 7). La palloza, modelo 1, se distribuye en planta baja, en la que se definen dos espacios, destinados a vivienda y a establo. El modelo contempla una altura máxima de 5.50 m y un volumen de 355.38 m<sup>3</sup>. La vivienda rural contemporánea, modelo 2, se distribuye en dos plantas. La planta baja destinada al ganado y la planta primera destinada a vivienda, con altura libre de 3.00 m. Las características dimensionales de ambos modelos se muestran en la Tabla 1.

### Modelo 1: palloza

Los materiales utilizados se definen en la Tabla 2. El funcionamiento térmico de la palloza está supeditado en su práctica totalidad a la cubierta de paja; térmicamente el aislamiento facilitado por sus muros o el suelo es mínimo ante la importancia del los flujos de calor a través de su cubierta. Dado que el catálogo de elementos constructivos (Ministerio de Fomento, 2011) no contempla cubiertas de paja, ha sido necesario recurrir a otras fuentes de información. Las referencias se han obtenido principalmente de diversos estudios publicados en Gran Bretaña, que al igual que el norte de la Península Ibérica ha desarrollado una tipología constructiva similar (English Heritage, 2000). El rendimiento térmico de una cubierta de paja es variable en función del espesor (más de 50 cm), inclinación y contenido de humedad; además es necesario considerar los flujos de ventilación tanto a través de la cubierta como de circulación interior de la palloza, a través de los vanos y encuentros. Se han considerado valores de conductividad y transmitancia térmica para el material seco, ajeno a las condiciones de humedad por lluvia o acumulación de nieve. Se relaciona la bibliografía existente para los parámetros de las cubiertas de paja, según fuentes de diversos organismos (Tabla 3), así como los definidos por el CIBSE "Chartered Institution of Building Services Engineers London" (Tabla 4). Para conocer el comportamiento real de los materiales anteriores, es necesario analizarlos en edificaciones ya ejecutadas. La Glasgow Caledonian University, GCU (Baker, 2011), ha realizado un estudio energético del comportamiento de edificaciones reales, obteniendo resultados desventajosos de transmitancias de cubiertas respecto a los datos definidos en laboratorio. En el estudio se analiza una edificación construida durante el siglo XIX en Bornesketaig, oeste de Escocia, en la isla de Skye (Figura 8). Los valores obtenidos de campo (1.1-1.5 W/m<sup>2</sup>K) son mayores que en el cálculo previsto inicialmente (0.3-0.4 W/m<sup>2</sup>K). Las causas indicadas son diversas, bien por el desconocimiento de la ejecución o por la incorporación de un revestimiento de paneles de madera, realizado posteriormente en la vivienda y

que ha modificado la renovación y los flujos de aire en su interior. Ello confirma la cautela con la que es necesario discutir los resultados obtenidos mediante la modelización, siendo ideal compararlos con resultados empíricos reales.

**Tabla 2: Modelo 1: palloza**

Palloza	U Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Material	Espesor (m)
Techo paja centeno $\lambda=$ 0.08 (W/mK)	0.13	Paja centeno	0.600
Muros piedra	2.05	Esquisto Pizarra (2000 $< d < 2800$ )	0.700
Losa establo	0.62	Paja centeno Tierra apisonada	0.100 0.200
Losa vivienda	2.84	Tierra apisonada	0.200
Divisiones interiores	3.56	Madera conífera	0.020
Carpintería	2.00	Madera sin vidrios	

**Tabla 3: Fuentes consultadas para la obtención de parámetros energéticos en cubiertas de paja**

Hiss Reet, 2012	$\lambda= 0.04 - 0.073$ (W/mK)
National Society of Master Thatchers (NSMT), 2012	$U= 0.35$ (W/m <sup>2</sup> K); Water Red: 30.48 cm espesor, 45°
Thatching Advisory Services (TAS) 2011	Peso= 34 (kg/m <sup>2</sup> ) $\lambda = 0.09$ (W/mK); water reed $\lambda = 0.07$ (W/mK); long straw $R = 11.1$ (m <sup>2</sup> K/W); water reed $R = 14.3$ (m <sup>2</sup> K/W); long straw $U = 0.2$ (W/m <sup>2</sup> K); Water Red: 45 cm espesor; Long Straw: 35 cm espesor
English Heritage, 2010	$U= 0.29$ (W/m <sup>2</sup> K); Water Reed: 30 cm espesor $U= 0.23$ (W/m <sup>2</sup> K); Long Straw: 30 cm espesor
CSIR, 1998	$U= 0.65$ (W/m <sup>2</sup> °C); flujo descendente $U= 0.67$ (W/m <sup>2</sup> °C); flujo ascendente

**Tabla 4: Propiedades energéticas paja**

	Conductividad térmica $\lambda$ (W/mK)	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico $cp$ (J/kg·K)
Tablero paja	0.057	310	1300
Tablero fibra paja	0.10	300	2100
Cubiertas paja	0.07	240	180

Fuente: CIBSE. *Environmental design. Guide A, 2006*.

**Figura 8: Beaton's Croft House. Bornesketaig,  
(isla Skye, Escocia)**



Fuente: Baker, 2011.

Respecto al empleo de paja en muros (práctica más extendida en EE.UU.), se pueden indicar los parámetros más habituales. Las densidades oscilan entre 90-130 (kg/m<sup>3</sup>), ofreciendo valores de conductividad térmica  $\lambda$  entre 0.0337 y 0.086 (W/mK), siendo los valores obtenidos en ensayo (Wimmer, 2002) de 0.045 (W/mK). Una bala de paja de 60 cm de espesor ofrece una permeancia de 114.6 - 229.2 ng/Pa·s·m<sup>2</sup>, expresado en resistividad al vapor de agua equivale a valores entre 0.01262 y 0.00631 mmHg día m<sup>2</sup>/g cm (Carro, 2010) (Flury, 2009). Valores similares se definen en diversos estudios, con valores de resistencia a la difusión del vapor de agua  $\mu$  entre 1 y 2 (Pašić 2002) (Glasnović, 2008).

## Modelo 2: "Vivienda rural contemporánea"

La definición constructiva del modelo 2 se caracteriza por el empleo de nuevos materiales. La composición de su envolvente térmica se indica en la Tabla 5.

## Puentes térmicos

Respecto a los puentes térmicos, para el caso de la palloza, se han calculado utilizando la aplicación Therm (University of California, 2012), versión 6.3. Para el modelo vivienda rural contemporánea se adoptan los valores definidos en la aplicación LIDER. Para la entrada

de datos, las temperaturas exteriores se han tomado según registros de las estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de estudio, Pedrafita do Cebreiro (registros desde 2009), Ventosa (desde 2007) y Cervantes (desde 2001), mostrando las temperaturas máximas, mínimas totales y medias registradas (Tabla 6).

**Tabla 5:** Modelo 2: vivienda rural contemporánea. Definición constructiva

Vivienda rural contemporánea	U (W/m/K)	Material	Espesor (m)
Fachada	1.65	Mortero cemento (1450 < d < 1600 mm)	0.020
		Tabicón de LH doble (60 mm < E < 90 mm)	0.080
		Cámara aire ligeramente ventilada	0.050
		EPS Poliestireno Expandido (0.046 W/(mK))	0.030
		Tabique LH sencillo (40 mm < e < 60 mm)	0.040
		Mortero cemento o cal (1450 < d < 1600mm)	0.020
Cubierta	0.89	Esquisto Pizarra (2000 < d < 2800)	0.001
		Cámara aire ligeramente ventilada	0.050
		Mortero cemento o cal (1450 < d < 1600 mm)	0.030
		FU Entrevigado de hormigón - Canto 250 mm	0.250
Forjado	2.58	Plaqueta cerámica	0.020
		Mortero cemento o cal (1450 < d < 1600 mm)	0.020
		FU Entrevigado hormigón - Canto 250 mm	0.250
Losa p. baja	3.96	Hormigón convencional d 1600	0.080
Fachada p. baja	3.50	1/2 pie LM métrico (40 mm < e < 50 mm)	0.115
Carpintería	3.44 (W/m <sup>2</sup> K) Factor solar= 0.85	Aluminio RPT + vidrio 6 mm	

**Tabla 6:** Registro histórico meteorológico

Localidad	Temp. máxima (°C)	Temp. mínima (°C)	Temperatura media mínima y máxima mensual (°C)
Pedrafita do Cebreiro (Lugo)	31.4 (junio 2011)	-10.2 (febrero 2012)	-0.3 (enero 2010) 17.2 (julio 2010)
Ventosa. Navia de Suarna (Lugo)	34.3 (junio 2011)	-8.7 (enero 2010)	3.1 (febrero 2010) 17.6 (agosto 2010)
Cervantes (Lugo)	30.9 (agosto 2003)	-10.8 (febrero 2005)	-0.8 (febrero 2005) 17.8 (julio 2006)

Fuente: MeteoGalicia.

De ellas se adoptan los valores extremos de temperaturas, de -8°C en invierno y 31°C en verano. Los resultados obtenidos de puentes térmicos se indican en la Tabla 7, a partir de valores de factor de temperatura superficial interior  $f_{RSI}=1-U\cdot 0.25$ , indicando los valores de transmitancia lineal a lo largo del encuentro ( $\Psi$ ) en W/mK.

**Tabla 7.** Valores puentes térmicos

	Palloza (THERM)		Vivienda rural contemporánea (CTE)	
	$\Psi$ (W/ mK)	$f_{RSI}$	$\Psi$ (W/ mK)	$f_{RSI}$
Encuentro forjado-fachada	0.00	0.00	0.39	0.79
Encuentro suelo exterior-fachada	0.00	0.00	0.39	0.74
Encuentro cubierta-fachada	0.03	0.76	0.39	0.74
Esquina saliente	0.58	0.43	0.08	0.85
Hueco ventana	1.20	0.36	0.39	0.64
Pilar	0.00	0.00	0.72	0.67
Unión losa-muro	1.00	0.717	0.14	0.76

## 7. Resultados

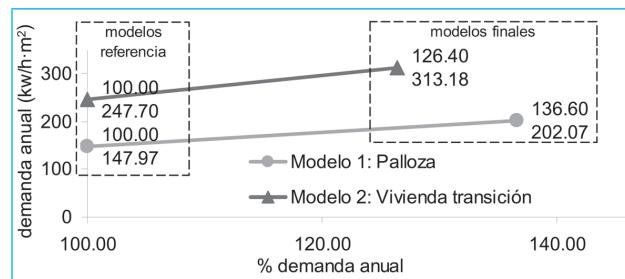
En este artículo se cuantifica el consumo de energía considerando el diseño y las características constructivas, sin valorar instalaciones térmicas, no consideradas en el análisis.

Cabe señalar que en ninguno de los dos modelos se cumplen los estándares de confort ni las exigencias actuales normativas de ahorro y de eficiencia energética.

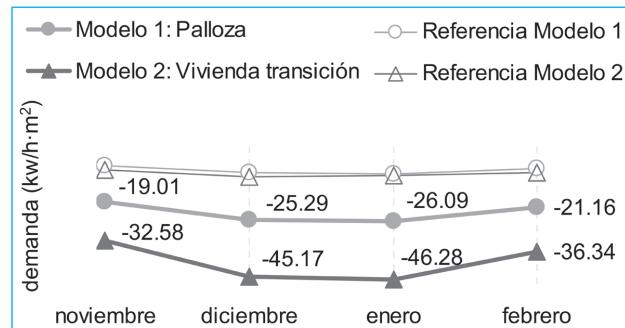
Los resultados obtenidos para cada modelo se muestran tanto en porcentajes de demanda anual (eje de abscisas) como en valores absolutos en kW/h·m<sup>2</sup> (eje de ordenadas). Para cada uno de ellos existe un modelo de referencia con el cual se comparan. En el modelo 1 se obtiene un porcentaje de demanda anual de 136.60 respecto al de referencia, y una demanda anual de 202,07 kW/h·m<sup>2</sup>. En el modelo 2 los valores son un 126.40% y 313.18 kW/h·m<sup>2</sup> (Figura 9).

La variación de demanda mensual en kW/h·m<sup>2</sup> de calefacción se muestra en la Figura 10 para ambos modelos, mostrando los valores más desfavorables en los meses de frío (diciembre a enero), en torno a -35 kW/h·m<sup>2</sup> en enero para el modelo 1 y en torno a un -56 kW/h·m<sup>2</sup> para el modelo 2, siendo nulos en los meses cálidos (junio a septiembre).

**Figura 9.** Resultados obtenidos para la demanda calefacción anual (%; kW/h·m<sup>2</sup>)



**Figura 12.** Desviación respecto al modelo referencia (meses invierno)(kW/h·m<sup>2</sup>)



## 8. Discusión

Hay que considerar la eficacia de los recursos materiales (Ryan, 2011), para los que la palloza responde con el uso solamente de cuatro materiales de construcción básicos, mientras que la vivienda rural contemporánea ofrece una solución utilizando doce materiales (Figura 11).

En cuanto al comportamiento de los dos modelos, los resultados de demanda de calefacción anuales muestran mayores valores para la vivienda de transición que para la palloza (Figura 9). Ello significa que el comportamiento de la palloza es en torno a un 35% mejor que el de la vivienda de transición, tanto en el

cómputo global anual como mensual, siendo nula la demanda de calefacción durante los meses de verano. En estos resultados es necesario indicar también que el modelo de referencia de la palloza ofrece mejores valores (147.97 kW/h·m<sup>2</sup>) que el de la vivienda de transición (247.70 kW/h·m<sup>2</sup>), debido principalmente a su diseño y compacidad. Los resultados de la Figura 12 muestran las diferencias de ambos modelos respecto al de referencia durante los meses de invierno. Se aprecia que la demanda de calefacción en la vivienda de transición es del orden del doble a la de la palloza.

Aunque los resultados obtenidos son concretos para los casos definidos en el estudio, es posible extrapolar algunas de las conclusiones a tipologías de vivienda unifamiliar con cubierta de paja, como algunas de las ya identificadas en el norte de España o de Europa. Sin embargo, es necesario acotar esta generalización, no aplicable para climas más cálidos, en los que el comportamiento energético difiere notablemente.

En el ámbito internacional existen numerosas publicaciones de análisis constructivo y arquitectónico o histórico, en otras, se analiza el comportamiento térmico de las cubiertas de paja, pero no se han obtenido fuentes en las que se realice una caracterización energética de un modelo de vivienda con cubierta de paja.

En algunos de estos estudios se indica el buen comportamiento térmico de la paja como material, en

consonancia con los resultados obtenidos en el presente análisis, que indican su buena efectividad como solución constructiva en cubiertas de modo estacional a lo largo del año. Las implicaciones teóricas que se derivan de este estudio son la puesta en valor del modelo de palloza como construcción sostenible.

Por otra parte, el estudio de esta tipología tradicional puede permitir su aplicación práctica a nuevos sistemas y materiales con tecnologías actuales, destinados tanto a la rehabilitación como a la obra nueva, principalmente en viviendas.

## 9. Conclusiones

Ninguno de los dos casos analizados cumple los estándares de confort ni las exigencias normativas de ahorro y eficiencia energética actuales. Sin embargo, determinadas características y estrategias pasivas de su diseño (como la configuración, la compacidad o el empleo de paja en cubierta) pueden ser reinterpretadas para el cumplimiento de nuevas exigencias de ahorro y eficiencia energética en viviendas.

Los métodos constructivos de la palloza como arquitectura tradicional basados en procesos de acierto/error, se consideran válidos en la actualidad, ofreciendo a los profesionales criterios para diseñar y construir vivien-

Figura 10. Demandas mensuales calefacción (kW/h·m<sup>2</sup>)

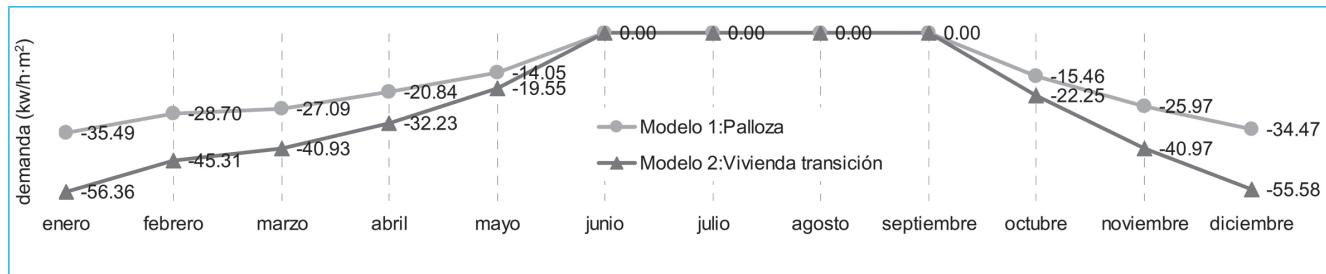


Figura 11. Relación de transmitancias (W/m<sup>2</sup>K) y materiales usados, fila superior modelo 1 y fila inferior modelo 2

CERRAMIENTOS	CUBIERTAS	CARPINTERÍAS
 2 materiales: piedra, barro U= 2.05	 2 materiales: piedra, paja U= 0.13	 2 materiales: madera, hierajes hierro U= 2.00
 5 materiales: ladrillo prefabricado, aislamientos EPS, U= 0.81	 10 materiales: áridos, cemento, armadura, madera, aislamiento, impermeabilización, fijaciones, pizarra, U= 0.89	 4 materiales: aluminio, vidrio, plásticos, hierajes U= 3.44

das utilizando materiales sostenibles, de ámbito local y de bajo coste ambiental. Por ello, en el momento actual de continuo avance tecnológico y aparición de nuevos sistemas constructivos, se hace necesario volver la mirada al pasado y valorar la eficacia de soluciones constructivas que energéticamente funcionan desde hace más de veinte siglos.

## Bibliografía

- American Society for Testing and Materials. (2012). ASTM-E119: Fire standards and flammability standard. doi: 10.1520/E0119-12A
- Austrian Standards Plus. (2012). ÖNORM B 3800 series 1-9. Österreichisches Normungsinstitut: Austria. Disponible en la web: <http://www.as-plus.at>. [visitado 8-2013].
- Baker, P. (2011). U-values and traditional buildings: In situ measurements and their comparisons to calculated values. Historic Scotland, Technical Paper. Edinburgh, U.K.: GCU, Glasgow Caledonian University.
- Carro, F. (2010). La viabilidad técnica de la construcción con paja. Jornadas sobre construcción con balas de paja. Valladolid.
- CIBSE, Chartered Institution of Building Services Engineers. (2006). Environmental design: Guide A. London: CIBSE.
- Comisión Europea. (2010). Comunicación de la Comisión COM. Europa 2020: Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Bruselas: CE.
- CSIR, Council for Scientific and Industrial Research. Division of building and construction technology. (1998). Thatch guide: A guide to good thatching practice. Pretoria, Sudáfrica: CSIR, pp. 9-10.
- De Llano, P. (1981). Arquitectura popular en Galicia: Razón e construcción. Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia. Santiago de Compostela.
- English Heritage. (2000). Thatch and thatching: A guidance note. London: English Heritage.
- English Heritage. (2010). Energy efficiency and historic buildings: Insulating thatched roofs. London, U.K.: English Heritage, 10-11.
- Flury, M., Mathison, J., Q. Wu, J., Schillinger, W. y Stöckle, C. (2009). Water Vapor Diffusion through Wheat Straw Residue. *Soil Physics, SSSAJ*, 73 (1), 37-45. doi:10.2136/sssaj2008.0077. [Septiembre 2013].
- García, M. "Yuma". (1997). Los Ancares: Cervantes e Ibias. León: Everest. León.
- Glasnović, Z., Horvat, J. y Omahić, D. (2008). Straw as a superior Building Materials. Zagreb: Tehnoeko, (3), 14-17.
- González, A. (2001). Etnoarqueología de la vivienda en África subsahariana: Aspectos simbólicos y sociales. ArqueoWeb, Revista sobre Arqueología en Internet, 3 (2). Disponible en la web: <http://www.ucm.es>. [visitado 8-2013].
- Hiss Reet Schilfrohrhandel GmbH. (2012). Disponible en la web: <http://www.hiss-reet.de/kontakt>. [visitado 8-2013].
- IGN España. Instituto Geográfico Nacional España. Disponible en la web: <http://www.ign.es>. [visitado 8-2013].
- IGN Francia. l'Institut national de l'information géographique et forestière. Disponible en la web: <http://www.ign.fr>. [visitado 8-2013].
- LABC, Local Authority Building Control in England and Wales. (2009). The dorset model. Thatched buildings: New properties and extensions. Dorset building control technical committee, London.
- Lizancos, P. (2005). A casa contemporánea en Galicia. Vigo: A nosa terra. Vigo.
- MeteoGalicia. Consellería de Medio Ambiente Territorio e Infraestructuras, Xunta de Galicia. Base de datos meteorológicas. Disponible en la web: <http://www.meteogalicia.es>. [visitado 8-2013].
- MINETUR, IDAE. (2008). Guía técnica: Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios. Madrid: Ministerio de Industria Turismo y Comercio.
- Ministerio de Fomento. (2011). Catálogo informático de elementos constructivos, v2.1. Disponible en la web: <http://www.elementosconstructivos.codigotecnico.org>. [visitado 8-2013].

- Ministerio de Vivienda. (2006). Código Técnico de la Edificación en España. CTE-DB-HE1: Limitación de demanda energética. Ministerio de Vivienda: España. Disponible en la web: <http://www.codigotecnico.org>. [visitado 8-2013].
- Morgan, W., Cooper, F. (1960). *The thatcher's craft: Rural Development Commission*. London, U.K: Bantley Brothers Limited.
- National Society of Master Thatchers. (2009). *A practical guide to thatch and thatching in the twenty first century*. U.K.: NSMT.
- Pašić, Z., Topalović, M. y Kobaš, A. (2010). Natural fibrous thermal insulation materials in Building. 14th International Research/Expert Conference. TMT. Zenica.
- Ryan, C. (2011). *Traditional Construction for a Sustainable Future*. Oxon, U.K.: Spon Press
- Thatching Advisory Services, TAS. (2011). *The complete thatch guide: A guide for architects. Contractors and thatched property owners*. Seaton: TAS.
- Unión Europea. (2010). Directiva 2010/31/EU relativa a la eficiencia energética de los edificios. Bruselas, Bélgica: Parlamento Europeo.
- Unión Europea. (2012). Directiva 2012/27/EU de eficiencia energética. Bruselas, Bélgica: Parlamento Europeo.
- United Nations. (1998). Climatic Change Conference, UNFCCC. Protocolo de Kioto, Buenos Aires, Argentina. Disponible en la web: <http://unfccc.int>. [visitado 8-2013].
- United Nations. (2011). Climatic Change Conference, UNFCCC, COP17-CMP7. Durban, South Africa. Disponible en la web: <http://unfccc.int>. [visitado 8-2013].
- University of California. (2012). Software THERM, Finite Element Simulator, version 6.3.
- United States Department of Energy, USDOE. (2009). DOE-2: Building energy use and cost analysis tool. Disponible en la web: <http://doe2.com>. [visitado 8-2013].
- Villares, R. (1984). *A Historia*. Vigo: Galaxia.
- Walter, B., McGregor, B., McGregor, C. y Stark, G. (1996). *Thatch and thatching techniques: A guide to conserving Scottish thatching traditions. Technical advice note 04*. Edinburgh, U.K.: Historic Scotland.
- Watson, D. (1979). *Energy conservation through building design*. New York, U.S.A.: McGraw-Hill.
- Wimmer, R., Janisch, L., Hohensinner, H. y Drack M. (2002). *Wall systems made of renewable resources*. Vienna, Austria: Center for Appropriate Technology at the Vienna University of Technology, GrAT.